LE DIAGRAMME LOCALEMENT LIBRE COMME UNE COMPLETION INDUCTIVE D'UN SYSTEME DE CHOIX

Matthias Gerner* **René Guitart†**

Journées Catégories, Algèbres, Esquisses, Néo-Esquisses - Caen (France)
27-30 Septembre 1994

Abstract

La notion de diagramme localement libre, introduite par Guitart et Lair, est une généralisation de celle de structure libre. L'existence de ces diagrammes localement libres pour les foncteurs esquissables a été établie par Guitart et Lair ; la preuve est basée sur une construction transfinie par saturation. Il y a donc un principe itératif, mais à chaque étape la construction n'est pas effective. Pour cette raison la thèse de Gerner contient une autre démonstration qui est effective mais valable seulement pour les esquisses dont les cônes projectifs sont à bases finies. L'article présent fournit une nouvelle construction du diagramme localement libre qui sépare bien davantage la partie effective de la partie non-effective du processus (de nouveau les cônes projectifs doivent être à bases finies). Cette nouvelle construction représente une amélioration notable à l'égard de ([2], [3]).

1 Introduction

Définition 1 : Soient $\underline{A}$ une catégorie, $\underline{B}$ une catégorie complète et co-complète et $U : \underline{A} \longrightarrow \underline{B}$ un foncteur. Le foncteur U admet des *Diagrammes Localement Libres* (D.L.L.) si et seulement si pour tout $B \in \underline{B}$ il y a une *petite* catégorie $\mathbb{DL}_U(B) \in ObCat$, un foncteur $D_U^B : \mathbb{DL}_U(B) \longrightarrow \underline{A}$ et un cône projectif $d_U^B = (B \longrightarrow D_U^B(C))_{C \in \mathbb{DL}_U(B)}$ tels que pour tout $A \in \underline{A}$:

$$Hom_{\underline{B}}(B, UA) \cong \varinjlim_{C \in \mathbb{DL}_U(B)} Hom_{\underline{B}}(D_U^B(C), A).$$

Comme mentionné ci-dessus, Guitart et Lair [4] ont établi l'existence des D.L.L. pour les foncteurs esquissables U, en particulier pour U le foncteur-inclusion plein et fidèle de $\underline{A} = Mod[S]$ dans $\underline{B} = Set^{\underline{C}}$, avec $S = (\underline{C}, \mathbb{I}, \mathbb{P})$ une esquisse mixte dont les ensembles de cônes inductifs et projectifs sont notés par

- $\mathbb{I} = \{I = (U_J^I \xrightarrow{\alpha_J^I} U^I)_{J \in \underline{J}^I}$ tel que $\underline{J}^I$ est une petite catégorie $\}$
- $\mathbb{P} = \{P = (V^P \xrightarrow{\beta_K^P} V_K^P)_{K \in \underline{K}^P}$ tel que $\underline{K}^P$ est une petite catégorie $\}$.

*Université Paris 7 Denis Diderot, e-mail address : gerner@mathp7.jussieu.fr
†Université Paris 7 Denis Diderot, Mathématiques 3° Cycle, Couloir 45-55 5° étage, 2 Place Jussieu, 75005 Paris

Dans la section 2 nous donnons une nouvelle preuve d'existence des D.L.L. (de nouveau pour un foncteur esquissable U et avec la restriction que les bases projectives doivent être finies) qui seront encore plus facilement manipulables que les précédents parce que, dans les D.L.L. construits en suivant cette preuve, se trouve mieux séparé ce qui est effectif de ce qui ne l'est pas. Puisque la nouvelle preuve coïncide en grande partie avec celle de Gerner, nous allons souvent nous reporter, dans la section 2, à ([2], [3]).

2 Une nouvelle preuve d'existence constructive des D.L.L.

2.1 Motivation

Si le foncteur $(\underline{C} \xrightarrow{T} Set) \in Set^{\underline{C}}$ n'est pas un modèle (i.e. n'est pas dans $Mod[S]$), nous pouvons trouver trois raisons principales pour lesquelles T ne l'est pas (les deux premiers concernent les limites inductives, le troisième se réfère aux limites projectives).

Erreur 1 Il est possible que pour un cône inductif de S l'image de son sommet par T ne soit pas complètement atteinte par la base, i.e. qu'il existe $I = (U_J^I \xrightarrow{\alpha_J^I} U^I)_{J\in\underline{J}^I} \in I\!I$ tel que $\varinjlim_{J\in\underline{J}^I} T(U_J^I) \neq T(U^I)$ parce que $\bigcup_{J\in\underline{J}^I} T(U_J^I) \subsetneqq T(U^I)$.

Erreur 2 Il est possible pour un cône inductif de S que dans l'image de son sommet par T deux points de la base soient identifiés sans qu'il y ait un zig-zag dans la base qui les joigne ; autrement dit il y a un $I = (U_J^I \xrightarrow{\alpha_J^I} U^I)_{J\in\underline{J}^I} \in I\!I$ tel que $\varinjlim_{J\in\underline{J}^I} T(U_J^I) \neq T(U^I)$ parce qu'il existe $J, J' \in \underline{J}^I$, $x_J \in T(U_J^I)$ et $x_{J'} \in T(U_{J'}^I)$ avec $T(\alpha_J^I)(x_J) = T(\alpha_{J'}^I)(x_{J'})$, mais sans aucune possibilité de combiner (x_J, J) et $(x_{J'}, J')$ par un zig-zag.

Erreur 3 Il existe $P = (V^P \xrightarrow{\beta_K^P} V_K^P)_{K\in\underline{K}^P} \in I\!P$ tel que $\varprojlim_{K\in\underline{K}^P} T(V_K^P) \neq T(V^P)$

Nous essayons de réparer ces trois types d'erreurs par des ensembles de saturations. Mais comme nous effectuons toutes ces saturations simultanément, il est possible que le nouveau foncteur contienne les trois erreurs à nouveau. Pour cela nous devons recommencer la procédure. Si T_n est le $n^{\text{ième}}$ foncteur de cette procédure, nous notons $\coprod_{n\in I\!N} T_n$ par T_∞ et le quotientons par une relation d'équivalence convenable qui fournira un modèle $T_\infty/_\approx$. Un tel modèle $T_\infty/_\approx$ sera ainsi donné par le choix d'une chaîne de saturation infinie convenable et d'une relation d'équivalence. Ces chaînes de saturation infinies terminées avec les relations d'équivalence convenables fourniront la catégorie sous-jacente du D.L.L de T.

2.2 La construction point par point du D.L.L.

2.2.1 Les chaînes de saturation de base

Soit $h : T \longrightarrow M$ un morphisme de T vers un modèle M de S. Nous allons construire un ensemble de saturations, et Gerner montre dans [2] qu'il existe des saturations dans cet ensemble qui corrigent les erreurs 1,2 et 3 et qui suivies de relations d'équivalences convenables transforment T en modèles de l'esquisse S :

Erreur 1 Pour tout cône inductif I de l'esquisse S nous notons par $T^I = T(U^I) \setminus [\bigcup_{J\in\underline{J}^I} T(\alpha_J^I)(T(U_J^I))]$ l'ensemble des points du sommet $T(U^I)$ qui ne sont pas atteints par des points de la base $(T(U_J^I))_{J\in\underline{J}^I}$.

Nous pouvons définir la mesure de réparation de l'erreur 1 par

$$\Lambda(\underline{J}^I, T^I) = \{\lambda^I : Ob\underline{J}^I \to \mathcal{P}(T^I)/\lambda^I \text{ est une application}\}.$$

Erreur 2 Ici nous devons corriger le problème des "zig-zags manquants" dans la base $(T(U_J^I))_{J\in \underline{J}^I}$. Sans nuire à la généralité nous ne considérons que les zig-zags du type suivant :

$$\begin{array}{ccccc} J' & \longrightarrow & J & \longleftarrow & J'' \\ J' & \xleftarrow{\gamma} & J & \xrightarrow{\delta} & J''. \end{array}$$

et seulement le deuxième type de zig-zag $J' \xleftarrow{\gamma} J \xrightarrow{\delta} J''$ présente un problème de "zig-zags manquants" comme nous le montrons en [2]. Définissons ensuite

$$\Theta^{\gamma,\delta}(J) = \{(x_{J'}, x_{J''}) \in T(U_{J'}^I) \times T(U_{J''}^I)/\forall x_J \in T(U_J^I) : T(\gamma)(x_J) \neq x_{J'} \quad \text{ou} \quad T(\delta)(x_J) \neq x_{J''}\}.$$

Avec $\Theta^I(J) := \coprod_{\gamma,\delta} \Theta^{\gamma,\delta}(J)$ nous sommes maintenant capables de définir la mesure de réparation de l'erreur 2 par

$$\Theta(\underline{J}^I, T) = \{\vartheta^I : Ob\underline{J}^I \longrightarrow \mathcal{P}(\Theta^I)/ \ \vartheta^I \text{ est une application avec } \forall J \in \underline{J}^J : \vartheta^I(J) \subseteq \Theta^I(J)\}$$

où $\Theta^I = \coprod_{J\in \underline{J}^I} \Theta^I(J)$.

Erreur 3 Afin de réparer l'erreur due au fait que T ne transforme pas les cônes projectifs de S en des limites projectives de Set, nous allons définir pour tout cône projectif $P \in I\!P$ de S :

$$\Psi(\underline{K}^P, T) \stackrel{\text{déf}}{=} \mathcal{P}\Big(\prod_{K\in \underline{K}^P} T(V_K^P)\Big).$$

La mesure globale de la correction des erreurs 1, 2 et 3 est l'ensemble

$$\Delta_0 = \Gamma = \prod_{I\in I\!I} \Lambda(\underline{J}^I, T) \times \prod_{I\in I\!I} \Theta(\underline{J}^I, T) \times \prod_{P\in I\!P} \Psi(\underline{K}^P, T).$$

Pour tout élément $(\lambda, \vartheta, \psi) \in \Gamma$ nous avons maintenant le foncteur de saturation $T_1 = T_1(\lambda, \vartheta, \psi)$:

$$\begin{array}{llcll} T_1(\lambda,\vartheta,\psi) : & \underline{C} & \longrightarrow & Set & \\ & Ob\underline{C} & \longrightarrow & ObSet & \\ & W & \longmapsto & T(W) + \coprod_{I\in I\!I} \coprod_{J\in \underline{J}^I} Hom_{\underline{C}}(U_J^I, W) \times \lambda^I(J) & (erreur1) \\ & & & + \coprod_{I\in I\!I} \coprod_{J\in \underline{J}^I} Hom_{\underline{C}}(U_J^I, W) \times \vartheta^I(J) & (erreur2) \\ & & & + \coprod_{P\in I\!P} Hom_{\underline{C}}(V^P, W) \times \psi^P & (erreur3) \\ & Fl\underline{C} & \longrightarrow & FlSet & \\ & (W \xrightarrow{\varepsilon} W') & \longmapsto & (T_1(\lambda,\vartheta,\psi)(W) \xrightarrow{T_1(\varepsilon)} T_1(\lambda,\vartheta,\psi)(W')) & \end{array}$$

$T_1(\varepsilon)$ est défini par morceaux :

$$\begin{array}{ccc} & T(W) \xrightarrow{T(\varepsilon)} T(W') & \\ Hom_{\underline{C}}(U_J^I, W) \times \lambda^I(J) & \longrightarrow & Hom_{\underline{C}}(U_J^I, W') \times \lambda^I(J) \\ (U_J^I \xrightarrow{\theta} W, x) & \longmapsto & (U_J^I \xrightarrow{\theta} W \xrightarrow{\varepsilon} W', x) \\ Hom_{\underline{C}}(U_J^I, W) \times \vartheta^I(J) & \longrightarrow & Hom_{\underline{C}}(U_J^I, W') \times \vartheta^I(J) \\ (U_J^I \xrightarrow{\theta} W, x) & \longmapsto & (U_J^I \xrightarrow{\theta} W \xrightarrow{\varepsilon} W', x) \\ Hom_{\underline{C}}(V^P, W) \times \psi^P & \longrightarrow & Hom_{\underline{C}}(V^P, W') \times \psi^P \\ (V^P \xrightarrow{\theta} W, x) & \longmapsto & (V^P \xrightarrow{\theta} W \xrightarrow{\varepsilon} W', x) \end{array}$$

Cependant, comme les différents cônes distingués de l'esquisse peuvent être entremêlés, il est possible qu'une saturation anéantisse les effets d'une autre. Pour cela nous allons répéter la procédure de saturation pour T_1. Ainsi nous obtenons l'ensemble

$$\Gamma_1 = \Gamma_1(\lambda, \vartheta, \psi) = \prod_{I \in \mathbb{I}} \Lambda(\underline{J}^I, T_1) \times \prod_{I \in \mathbb{I}} \Theta(\underline{J}^I, T_1) \times \prod_{P \in \mathbb{P}} \Psi(\underline{K}^P, T_1),$$

et nous pouvons définir $\Delta_1 = \coprod_{(\lambda,\vartheta,\psi)\in\Gamma} \Gamma_1(\lambda, \vartheta, \psi)$. Maintenant nous pouvons prolonger cette procédure en une récurrence infinie. Ainsi nous obtenons des foncteurs $T_1, \ldots, T_n$ et des ensembles $\Gamma_1, \ldots, \Gamma_n$; $\Delta_1 = \Delta_1(T), \ldots, \Delta_n = \Delta_n(T)$.

2.2.2 La construction du D.L.L.

Nous pouvons poser

$$\Delta_\infty \stackrel{\text{déf}}{=} \{\ \rho : \mathbb{N} \longrightarrow \coprod_{n \in \mathbb{N}} \Delta_n(T)\ \}$$

Pour $\rho \in \Delta_\infty$ nous pouvons définir le foncteur de saturation suivant :

$$T(\rho) \stackrel{\text{déf}}{=} T + \coprod_{n \in \mathbb{N}} T_{l(\rho(n))+1}(\rho(n)).$$

où $l(\rho(n)) \in \mathbb{N}$ est tel que $\rho(n) \in \Delta_{l(\rho(n))}$.
Par récurrence nous pouvons définir ensuite des chaînes finies de saturation où chaque membre est défini sur son seul prédécesseur :
Pour $n = 1$ une telle chaîne consiste en un élément $\rho \in \Delta_\infty(T)$. Supposons ensuite que nous ayons défini une chaîne du type $(\rho_1, ..., \rho_n)$ et un foncteur $T(\rho_1, ..., \rho_n) = T(\rho_1)(\rho_2)...(\rho_n)$. Pour $\rho \in \Delta_\infty(T(\rho_1, ..., \rho_n))$ nous pouvons ainsi considérer la chaîne $(\rho_1, ..., \rho_n, \rho)$ et le foncteur $T(\rho_1, ..., \rho_n, \rho) \stackrel{\text{déf}}{=} T(\rho_1, ..., \rho_n)(\rho)$.
Définissons ensuite

$$\Delta^*_\infty = \Delta^*_\infty(T) \stackrel{\text{déf}}{=} \{(\rho_1, ..., \rho_n) | \forall i \in \{1, ..., n\}\ : \rho_i \in \Delta_\infty(T(\rho_1, ..., \rho_{i-1}))\}$$

Pour $(\rho_1, ..., \rho_n) \in \Delta^*_\infty$, pour $H \in Mod[S]$, pour $g : T(\rho_1, ..., \rho_n) \longrightarrow H$ et pour $C \in \underline{C}$ nous avons une relation d'équivalence $\approx_{g(C)}$ donnée par :

$$\forall x, y \in T(\rho_1, ..., \rho_n)(C) : x \approx_{g(C)} y \Leftrightarrow g(C)(x) = g(C)(y).$$

Ainsi nous pouvons définir pour $(\rho_1, ..., \rho_n) \in \Delta^*_\infty$ la classe suivante :

$$\begin{aligned} \Sigma \quad = \quad & \Sigma(\rho_1, ..., \rho_n) = \Sigma(T, (\rho_1, ..., \rho_n)) \stackrel{\text{déf}}{=} \\ & \{g : T(\rho_1, ..., \rho_n) \longrightarrow H / \quad H \in ObMod[S], T(\rho_1, ..., \rho_n)/_{\approx_g} \text{ est un modèle de } S\}. \end{aligned}$$

La classe Σ devient un ensemble si nous quotientons Σ par la relation d'équivalence suivante définie pour tous $T(\rho_1, ..., \rho_n) \xrightarrow{g} H$ et $T(\rho_1, ..., \rho_n) \xrightarrow{g'} H' \in \Sigma(T, (\rho_1, ...\rho_n))$ par :

$g \approx g'$ si et seulement si $\forall C \in \underline{C}, \forall x, y \in T(\rho_1, ..., \rho_n)(C) : g(C)(x) = g(C)(y) \Leftrightarrow g'(C)(x) = g'(C)(y)$.

Pour cela nous définissons

$$\Omega = \Omega(\rho_1, ..., \rho_n) = \Omega(T, (\rho_1, ..., \rho_n)) \stackrel{\text{def}}{=} \Sigma(T, (\rho_1, ..., \rho_n))/_\approx$$

La catégorie d'indexation du D.L.L., notée $\mathcal{F}$, peut être définie maintenant sur les objets de la façon suivante :

$$Ob\mathcal{F} \stackrel{\text{déf}}{=} \coprod_{(\rho_1,...,\rho_n)\in\Delta^*_\infty} \Omega(T, (\rho_1, ..., \rho_n))$$

Une flèche $[(\rho_1, ..., \rho_n), g/_{\approx}] \longrightarrow [(\rho'_1, ..., \rho'_m), g'/_{\approx}]$ est donnée par une transformation naturelle $T(\rho_1, ..., \rho_n)/_{\approx g} \longrightarrow T(\rho'_1, ..., \rho'_n)/_{\approx g'}$. Il est facile de voir que $\mathcal{F}$ est une catégorie petite. Ainsi nous obtenons un foncteur :

$$D : \begin{array}{ccc} \mathcal{F} & \longrightarrow & Mod[S] \\ [(\rho_1, ..., \rho_n), g/_{\approx}] & \longmapsto & T(\rho_1, ..., \rho_n)/_{\approx g} \\ ([(\rho_1, ..., \rho_n), g/_{\approx}] \longrightarrow [(\rho'_1, ..., \rho'_n), g'/_{\approx}]) & \longmapsto & (T(\rho_1, ..., \rho_n)/_{\approx g} \longrightarrow T(\rho'_1, ..., \rho'_n)/_{\approx g'}) \end{array}$$

Nous avons, en outre, un cône projectif $d : (d([(\rho_1, ..., \rho_n), g/_{\approx}]) : T \longrightarrow T(\rho_1, ..., \rho_n)/_{\approx g})_{[(\rho_1, ..., \rho_n), g/_{\approx}] \in Ob\mathcal{F}}$.

2.3 La construction de 2.2.2 est un D.L.L.

Dans cette partie nous montrons le

Théorème 2.3 : Le diagramme $(\mathcal{F}, D, d)$ est localement libre pour le foncteur $T : \underline{C} \longrightarrow Ens$.

Afin de pouvoir prouver ce théorème nous avons besoin d'énoncer le lemme suivant :

Lemme 2.4 : Si $M \in Mod[S]$ est un modèle de l'esquisse S, F et G deux foncteurs et $t : F \longrightarrow G$ une transformation naturelle dans $Set^{\underline{C}}$, alors pour tout $\kappa \in \Delta_\infty(G)$ il existe une chaîne $\rho \in \Delta_\infty(F)$ et une transformation naturelle $t' : F(\rho) \longrightarrow G(\kappa)$ dont la restriction à F est t. Si t est surjective, alors t' l'est aussi.

Preuve du Lemme : Construction par image inverse.

Preuve du Théorème 2.3 : Conformément à la définition 1 nous devons vérifier pour tout modèle $M \in Mod[S]$ et tout morphisme $h : T \longrightarrow M$ dans $Ens^{\underline{C}}$ les deux propriétés :

- D'abord nous devons trouver un $[(\rho_1, ..., \rho_n), g/_{\approx}] \in Ob\mathcal{F}$ et une factorisation de $(T \xrightarrow{h} M)$ par $T \longrightarrow T(\rho_1, ..., \rho_n)/_{\approx g}$. Nous nous référons ici à [2], pp.32-41 ou à [3] où Gerner construit un $\rho : \mathbb{N} \longrightarrow \coprod_{n \in \mathbb{N}} \Delta_n$ et un morphisme $g : T(\rho) \longrightarrow M$ tels que $T(\rho)/_{\approx g}$ est un modèle et tels que $T(\rho)/_{\approx g}$ factorise $(T \xrightarrow{h} M)$.
- En outre, si $([(\rho_1, ...\rho_n), g/_{\approx}], m)$ et $([(\rho'_1, ...\rho'_n), g'/_{\approx}], m')$ factorisent le morphisme $T \xrightarrow{h} M$, nous devons trouver un zig-zag entre $([(\rho_1, ...\rho_n), g/_{\approx}], m)$ et $([(\rho'_1, ...\rho'_n), g'/_{\approx}], m')$.
  Ecrivons $\overline{\rho} = (\rho_1, ...\rho_n)$ et $\overline{\rho}' = (\rho'_1, ...\rho'_n)$. Supposons donc que $[\overline{\rho}, g/_{\approx}]$ et $[\overline{\rho}', g'/_{\approx}]$ satisfont la première propiété. Sans nuire à la généralité nous pouvons supposer que $n = m$ (si ce n'est pas le cas, nous pouvons prolonger la suite la plus courte par des saturations vides). Considérons d'abord la somme amalgamée $Q := (T(\overline{\rho})/ +_T T(\overline{\rho}')/_{\approx g'})$ qui est engendrée par les morphismes $T \longrightarrow T(\overline{\rho})/_{\approx g}$ et $T \longrightarrow T(\overline{\rho}')/_{\approx g'}$. La propriété universelle de la somme amalgamée fournit un morphisme unique $q : Q \longrightarrow M$ tel que q commute avec m et m'.
  En appliquant [2], pp.32-41 ou [3] au foncteur Q, nous pouvons trouver une application $\mu : N \longrightarrow \coprod_{n \in N} \Delta_n(Q)$ et un morphisme $t : Q(\mu) \longrightarrow M$ tels que $Q(\mu)/_{\approx t}$ soit un modèle et tels que le morphisme q factorise par $Q(\mu)/_{\approx t}$. Jusqu'à la fin de cette preuve nous montrons maintenant qu'il existe un $(\overline{\xi}, e/_{\approx}) = [(\xi_1, ..., \xi_{n+1}), e/_{\approx}] \in Ob\mathcal{F}$ tel que $T(\overline{\xi})/_{\approx e}$ soit isomorphe à $Q(\mu)/_{\approx t}$, et tels qu' il existe des flèches $(\overline{\rho}, g/_{\approx}) \longrightarrow (\overline{\xi}, e/_{\approx})$ et $(\overline{\rho}', g'/_{\approx}) \longrightarrow (\overline{\xi}, e/_{\approx})$ qui fournit le zig-zag désiré.
  Afin de prouver cela, nous devons énoncer le lemme suivant :

Lemme 2.5 : Avec les notations ci-dessus il existe une chaîne $\overline{\xi} = (\xi_1, ..., \xi_n) \in \Delta^*_\infty(T)$ telle que $T(\overline{\xi}) = T(\overline{\rho}) \underset{T}{+} T(\overline{\rho}') + R(\overline{\rho}, \overline{\rho}')$ où $R(\overline{\rho}, \overline{\rho}')$ est une somme de sous-foncteurs (R signifie "reste") d'un des $T(\xi_1, ..., \xi_i)$ avec $i \in \{1, ..., n\}$. Il existe, en outre, des transformations naturelles $T(\xi_1, ..., \xi_i) \longrightarrow Q$ $(i \in \{1, ..., n\})$ telles que le diagramme correspondant sur M soit commutatif et telles que $T(\xi_1, ..., \xi_n) \longrightarrow Q$ soit surjective.

Preuve du Lemme 2.5 : La chaîne $\overline{\xi}$ est obtenue par formation successive de sommes amalgamées.

Nous pouvons appliquer le Lemme 2.4 à la chaîne $\mu \in \Delta_\infty(Q)$ et trouver une chaîne $\xi_{n+1} \in \Delta_\infty(T(\overline{\xi}))$ et une transfomation naturelle surjective $T(\overline{\xi})(\xi_{n+1})$. En combinant cette transformation naturelle $Q(\mu) \longrightarrow Q(\mu)/_{\approx t}$ nous obtenons une transformation naturelle surjective $e : T(\overline{\xi})(\xi_{n+1}) \longrightarrow Q(\mu)/_{\approx t}$. Pour cette raison nous avons un modèle $T(\overline{\xi})(\xi_{n+1})/_{\approx e}$ qui est engendré par un point du D.L.L. et qui est isomorphe à $Q(\mu)/_{\approx t}$. Les flèches $(\overline{\rho}, g/_\approx) \longrightarrow (\overline{\xi}, e/_\approx)$ et $(\overline{\rho}', g'/_\approx) \longrightarrow (\overline{\xi}, e/_\approx)$ fournissent le zig-zag désiré. □

Références

[1] Diers Y.
Catégories Localisables, Thèse Paris 1977

[2] Gerner M.,
Le lien entre la logique et la géométrie via les esquisses,
Thèse de Doctorat, Université Denis Diderot (Paris 7), 1994

[3] Gerner M.,
The locally free diagram revisited for a calculus of geometric invariants, submitted to J.P.A.A.

[4] Guitart R. et Lair C.,
Existence de Diagrammes Localement Libres I and II, Diagrammes, Vol. 6 et 7, Paris 1980 et 1981

[5] Guitart R.,
On the geometry of computations I and II,
Cahiers de top. et géom. diff. cat., Vol. XXVII-4, 1986 et Vol. XXIX-4, 1988